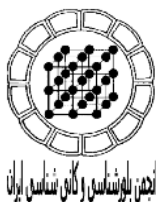
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و نهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۳۷۵ تا ۳۸۴



کاربرد ویژگی‌های نوری بلور کلسیت در شناسایی نانوفسیل‌های آهکی و اسپیکول‌های دیدمنیدها در سه برش چینه‌شناسی در بلوک لوت

فرح جلیلی*[1]، مرضیه نطقی مقدم[2]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۴/۱۴، نسخه نهایی: ۹۹/۷/۸)

چکیده: نانوپلانکتون‌های آهکی از فراوانترین جاندارهای پلانکتونی تک‌سلولی کلسیتی بر روی کره زمین هستند. این گروه شامل کوکولیت‌هایی از بلورهای کلسیتی هستند. آن‌ها از مهم‌ترین گروه‌های میکروفسیلی در بررسی‌های زیست‌چینه‌نگاری، دیرینه‌بوم‌شناسی و پی‌جویی‌های نفتی هستند و شناسایی دقیق و صحیح آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی، برخی از انواع اسپیکول‌های دیدمنیدها (Didemnid ascidian spicules) شبیه به نانوفسیل‌ها هستند و تفکیک آن‌ها از هم ضروری و برای تعیین سن درست نهشته‌ها و سازندها لازم است. از این رو، استفاده از ویژگی‌های نوری بلور کلسیت که با میکروسکوپ پلاریزان و تیغه کمکی ژیپس مشخص می‌شود، می‌تواند منجر به تفکیک ریزساختارها و آرایش واحدهای فرعی نانوفسیل‌ها و در پی آن تفکیک واحدهای فرعی نانوفسیل‌ها از گروه نام برده شود. در این پژوهش، بر پایه ویژگی‌های نوری بلور کلسیت، تعدادی از گونه‌های نانوفسیلی و نیز تعدادی از اسپیکول‌های دیدمنیدها بررسی و شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: *بلورشناسی؛ بلور کلسیت؛ تیغه ژیپس؛ نانوفسیل‌های آهکی؛ بلوک لوت.*

مقدمه

بلورشناسی علمی در رابطه با ساختار هندسی و پدیده‌های مربوط با مواد جامد متبلور است. از آن‌جا که اسکلت غالب موجودات از کانی‌های متفاوتی تشکیل شده است، بررسی فسیل‌ها بر پایه ویژگی‌های نوری امکان‌پذیر و درخور توجه است. در این میان، نانوفسیل‌های آهکی گروهی از میکروفسیل‌ها هستند که اسکلتی کلسیمی دارند و به‌طور طبیعی به صورت کلسیت و به ندرت به صورت آراگونیت متبلور می‌شوند. به دلیل ناپایداری آراگونیت، بخش عمده‌ای از نمونه‌های فسیلی دارای اسکلت کلسیتی هستند بنابراین توجه به ویژگی‌های نوری بلور کلسیت عامل ارزشمندی در شناسایی گونه‌های مختلف نانوفسیلی است. در بررسی این گونه‌ها، باتوجه به سرعت متفاوت پرتوهای عادی و غیرعادی در بلور کلسیت، رنگ‌های متفاوتی در بخش‌های مختلف فسیل ایجاد می‌شود که از گونه‌ای به گونه‌ی دیگر تغییر نموده به‌طوری که برای شناسایی گونه استفاده می‌شود.

نانوفسیل‌های آهکی که اساس مطالعه کنونی بر پایه ویژگی‌های نوری بلور کلسیت در کوکولیت‌ها هستند، با اندازه کوچک‌تر از ۳۰ میکرون و با شکل‌های مختلف وابسته به گروه جلبک‌های قهوه‌ای_ طلایی (هاپتوفیتا) هستند که به‌صورت فسیل حفظ شده‌اند. قدیمی‌ترین نانوفسیل‌های آهکی در تریاس پسین ظاهر شده‌اند و از آن پس تاکنون به‌صورت صفحه‌های کلسیتی متنوع درون رسوب‌های دریایی غنی از کربنات یافت می‌شوند [۱].

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۱۶۰۷۸۴۴، نمابر:۰۵۶۱۳۲۲۰۲۰۴۱، پست الکترونیکی: farah_jalili@birjand.ac.ir

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375]

به عبارت، دیگر نانوپلانکتون‌های آهکی از نظر ریخت‌شناسی گروه متنوعی را تشکیل داده که در آن سلول کوکولیتوفور یک اسکلت آهکی به نام کوکوسفر ترشح می‌کند. کوکوسفر از اجسامی به نام کوکولیت تشکیل شده است. ساختار هر کوکولیت شامل دو صفحه پروکسیمال و دیستال همراه با یک ناحیه مرکزی در هر صفحه است. دو نوع اصلی کوکولیت به نام های هتروکوکولیت و هولوکوکولیت به دلیل آرایش متفاوت محورهای نوری آن‌ها نسبت به محورهای میکروسکوپ پلاریزان، الگوهای خاموشی متفاوتی دارند کوکولیت‌ها پس از مرگ جاندار به اعماق اقیانوس سقوط کرده و به صورت فسیل حفظ می‌شوند. بررسی میکروسکوپی ویژگی‌های نوری بلورهای کلسیت کمک بسیاری به شناسایی آن‌ها می‌کند [۲].

گفتنی است که اجزای به جامانده از نانوفسیل‌های آهکی در بررسی‌های فسیل‌شناسی، زیست‌چینه‌نگاری و تطابق بین‌قاره‌ای و بین‌اقیانوسی کاربرد فراوانی دارند و ابزاری مهم در پی جویی های نفتی هستند.

دیدمنیدها (Didemnid ascidian) موجوداتی کفزی متحرک و صافی خوار با بدن نرم هستند که فقط اسپیکول کلسیتی آن‌ها سخت است و به صورت فسیل دیده می‌شود. رسوب‌های غنی از کربنات، به ویژه ریف‌های مرجانی محیط مطلوبی برای توسعه کلنی آنهاست [۳]. Ascidian spicules در همه دریاهای کم‌عمق بخاطر موقعیت تکاملی‌شان و نیز ارتباط با مهره‌داران مورد توجه فراوان زیست‌شناسان قرار گرفته‌اند [۴].

اسپیکول‌های کلسیتی این گروه اغلب کروی و یا شعاعی و شامل اجزای شعاعی طویل شده‌ای است که انتهای باریک آنها با محورهای c شعاعی دارند. تفاوت آن‌ها با نانوفسیل‌ها در شکل نامنظم آن‌هاست. اسپیکول‌های دیدمنیدها دارای اندازه‌ای بین ۱۰ تا ۷۰ میکرون هستند.

اگرچه Ascidian Spicules که از زیر شاخه Tunicates کفزی هستند ارتباطی با نانوپلانکتون‌ها ندارند، اما اسپیکول‌های آهکی دیدمنیدها اغلب در اسلایدهای آماده شده برای بررسی نانوفسیل‌های آهکی، دیده می‌شود. از آنجا که برخی از اسپیکول‌های دیدمنیدها شبیه گونه‌هایی از نانوفسیل‌ها هستند، تشخیص و تفکیک درست آن‌ها اثر بسزایی در تعیین سن طبقه‌ها و سایر بررسی‌های چینه‌شناسی دارد. از این‌رو، بررسی ویژگی‌های نوری بلورهای کلسیت می‌تواند به شناسایی درست و تفکیک گونه‌های وابسته به این دو گروه فسیلی از هم و تعیین سن درست آن‌ها کمک کند.

پژوهش‌های پیشین

تعیین ویژگی‌های بلورشناسی نانوفسیل‌های آهکی بر پایه بررسی‌های اولیه با میکروسکوپ نوری توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است [۵-۸]. همه این پژوهش‌ها پیرامون ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌های کرتاسه پسین در نواحی اطلس شمالی و شرق تتیس صورت گرفته و منجر به شناسایی انواع نانوفسیل‌ها و افزایش اطلاعات تاکسونومیکی و سیستماتیک دوباره آن‌ها شده است.

برای تعیین ساختار میکروسکوپی و آرایش ریزساختارهای واحدهای نانوفسیلی می‌توان با استفاده از میکروسکوپ نوری و تیغه کمکی ژیپس اطلاعات مفیدی به دست آورد [۹-۱۳]. چنین اطلاعات مهمی بر پایه اصول اولیه‌ای است که در ارتباط با ویژگی‌های نوری و عمل متقابل نور با کانی کلسیت بدست می‌آید.

بررسی پژوهش‌های پیشین پیرامون اسپیکول‌های دیدمنیدها (Didemnium ascidian spicules) گویای آن است که نخستین بار فسیل آن‌ها در سال ۱۹۵۶ به‌عنوان نانوفسیل معرفی شد [۱۴]. سپس گزارش‌های دیگری از این گروه فسیلی منتشر گردید [۱۵-۱۷] و بررسی و رده‌بندی این اسپیکول‌ها از رسوب‌های ترشیاری آغاز شد [۱۸].

تاکنون در ایران پژوهش‌های معدودی تنها با هدف بررسی ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌های آهکی انجام شده است (از جمله [۱۹]). به دلیل شباهت بسیار برخی از انواع اسپیکول‌های دیدمنیدها با نانوفسیل‌ها و اهمیت تفکیک اسپیکول‌های دیدمنیدها از هم در تعیین سن نهشته‌ها، در این پژوهش برای نخستین بار، تعدادی از نانوفسیل‌های آهکی موجود در سه برش سیلک، سرایان و بیرگ (سازند بادامو) در کرانه شرقی بلوک لوت به عنوان نمونه برای بررسی ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌ها و مقایسه این ویژگی‌ها با انواع اسپیکول‌های دیدمنیدها انتخاب شدند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375]

گفتنی است که پژوهش‌های پیشین بر پایه نانوفسیل‌ها در برش‌های نام برده در بلوک لوت با اهداف زیست‌چینه‌نگاری و تعیین سن نهشته‌ها بوده‌اند [۲۰-۲۳]. از این‌رو، در این پژوهش ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌های آهکی و اسپیکول‌های دیدمنیدها بررسی شد که برای تفکیک دو گروه و شناسایی درست گونه‌ها ضروری است. در این پژوهش، بررسی و شناسایی گونه‌ها بر پایه این ویژگی‌ها و نیز با میکروسکوپ نوری، انجام شده است.

زمین‌شناسی عمومی مناطق مورد بررسی

برش‌های مورد بررسی در کرانه شرقی بلوک لوت واقع در شرق ایران، از تقسیمات ساختاری- رسوبی ایران قرار دارند [۲۴]. ایالت ساختاری لوت به عنوان بخشی از یک خردقاره بزرگتر از ایران‌مرکزی و منطقه فلیش و افیولیت‌های شرق آن قسمتی از یک حوضه باریک دریایی پیشین که خردقاره را از هر طرف احاطه می‌کرده، در نظر گرفته شده است [۲۵]. این ایالت با درازای ۹۰۰ کیلومتر، شرقی‌ترین بخش خردقاره ایران‌مرکزی محسوب می‌شود و روند شمالی ـ جنوبی دارد. مرز شمالی این ایالت گسل درونه است که باعث جدایش آن از تربت ـ کاشمر شده و مرز غربی آن گسل نایبند است که باعث جدایش آن از ایران‌مرکزی می‌شود. مرز جنوبی آن به صورت گسله با کمربند آتشفشانی تبریز ـ بزمان و مرز شرقی آن سامانه گسلی نهبندان و ایالت ساختاری سیستان است [۲۶].

در این پژوهش، تعدادی از نانوفسیل‌های آهکی موجود در سه برش سیلک، سرایان و بیرگ (سازند بادامو) در کرانه شرقی بلوک لوت برای بررسی ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌ها و مقایسه این ویژگی‌ها با گروه فسیلی اسپیکول‌های دیدمنیدها به عنوان نمونه انتخاب شدند. سازند بادامو از واحدهای سنگ‌چینه‌ای شاخص دریایی ایران در منطقه کرمان و طبس است که به عنوان سومین سازند از گروه شمشک در ایران مرکزی معرفی شده و در بردارنده آهک‌های تیره‌رنگ با میان‌لایه‌های مارنی، شیلی و گاه ماسه‌سنگی است. برش الگوی سازند با ضخامت ۱۶۳ متر، در ۱۷ کیلومتری شمال شرق زرند قرار دارد [۲۴]. برش سیلک به ضخامت ۴۲۰ متر از رسوب‌های شبه فلیش شامل ماسه‌سنگ، مارن، شیل، ماسه سنگ‌های آهکی، تناوب ماسه‌سنگ و شیل و تناوب مارن و شیل تشکیل شده است. برش سرایان با ضخامت ۳۶۰ متر شامل نهشته‌های شیل و مارنی بوده و سازند بادامو در برش بیرگ با ضخامت ۴۳ متر، شامل سنگ‌آهک است.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی

در این پژوهش، تعداد ۴۶ نمونه از سه برش در نهشته‌های مارنی سرایان، سیلک و برش بیرگ از سازند بادامو در کرانه شرقی بلوک لوت انتخاب شد (شکل ۱).

برای جلوگیری از اثر هوازدگی و آغشتگی بر روی سنگ‌ها، بیشتر نمونه‌ها از عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتری لایه‌ها برداشت شد. در این پژوهش، تعداد ۱۵ نمونه از مقاطع مارنی برش سیلک، ۲۰ نمونه از برش سرایان و ۱۱ نمونه از برش بیرگ انتخاب و بررسی گردید.

نمونه‌های برداشت‌شده به روش اسمیر اسلاید [۲۷] آماده‌سازی شد. اسلایدهای آماده‌شده با میکروسکوپ نوری المپوس مدل BH2 با عدسی شیئی با بزرگنمایی 100X (با روغن ایمرسیون) و عدسی چشمی با بزرگنمایی 10X در دو نور پلاریزه و طبیعی و نور پلاریزه با تیغه کمکی ژیپس بررسی شدند. نانوفسیل‌های موجود بر پایه توضیح‌های ارائه‌شده در مرجع [۲۸] شناسایی شدند. برای تعیین ساختارهای میکروسکوپی و آرایش ریزساختارها و واحدهای نانوفسیلی نیز، بر اساس پژوهش‌های پیشین [۹، ۱۰، ۲۹] از تیغه ژیپس استفاده شد. تصاویر نانوفسیل‌های شناسایی‌شده و تصاویر اسپیکول‌های دیدمنیدها در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

بحث و بررسی

ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌ها

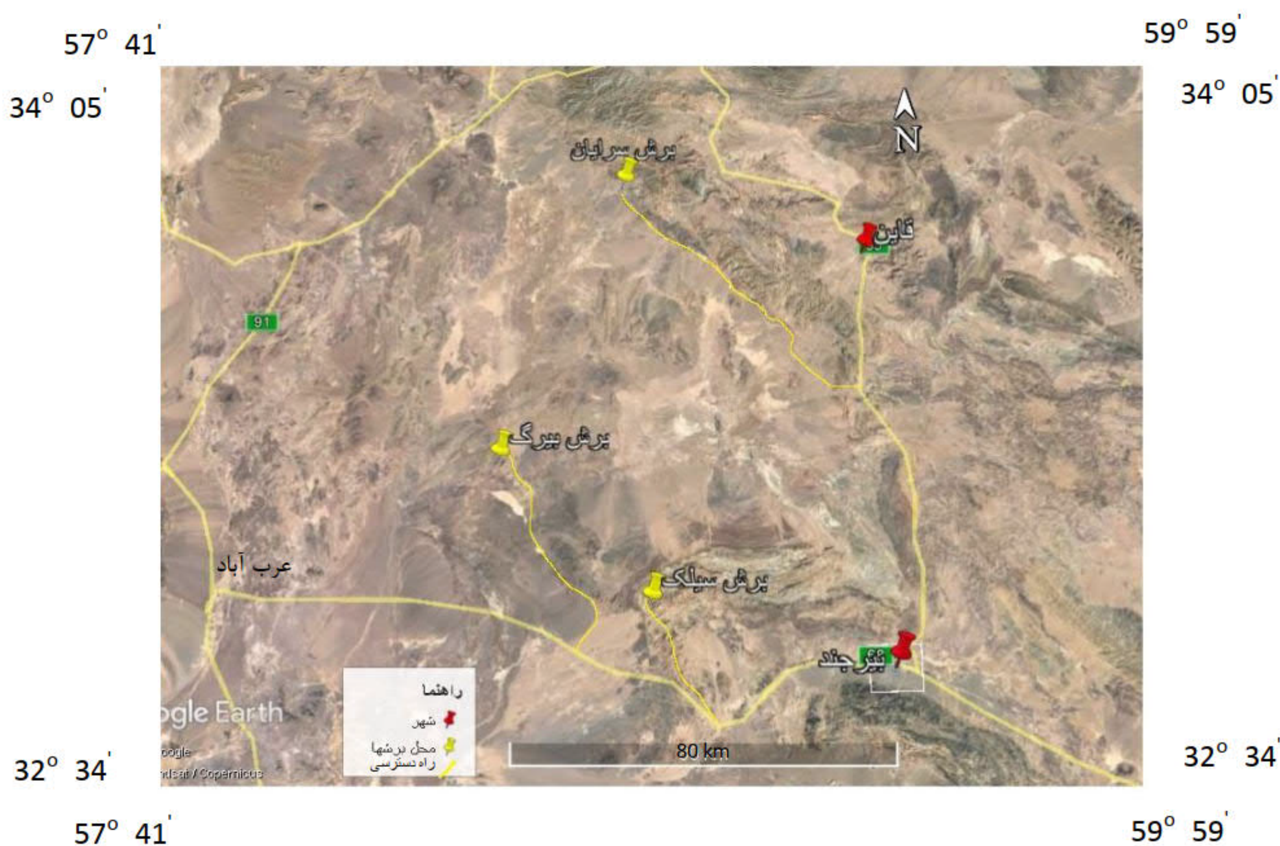
بررسی نانوفسیل‌ها به طور معمول با میکروسکوپ نوری انجام می‌شود، اما بررسی آن‌ها با میکروسکوپ الکترونی در تشخیص بهتر برخی گونه‌های نانوفسیلی بسیار مفید است به طوریکه امروزه برای بررسی ریزساختار و ترکیب کوکولیت‌ها از میکروسکوپ الکترونی نیز استفاده می‌شود. [۳۰، ۳۱]. از آنجا که کار با میکروسکوپ الکترونی همیشه و به آسانی امکان‌پذیر نیست، بررسی نانوفسیل‌های آهکی بیشتر با میکروسکوپ نوری و بر اساس ویژگی‌های نوری کلسیت انجام می‌شود. بنابراین از آنجا که با بررسی نانوفسیل‌ها با تیغه کمکی ژیپس برپایه ویژگی‌های نوری کلسیت اطلاعات قابل توجهی به دست می‌آید و تفکیک و تشخیص برخی از گونه‌های نانوفسیلی مشابه تنها از

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375]

این طریق میسر است، بسیاری از پژوهشگران در شناسایی گونه‌های نانوفسیلی از ویژگی‌های نوری کلسیت بهره جسته‌اند. از این رو، نخست به اختصار ویژگی‌های نوری کلسیت و تیغه ژیپس توصیف شده و سپس ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌ها بیان می‌شود.

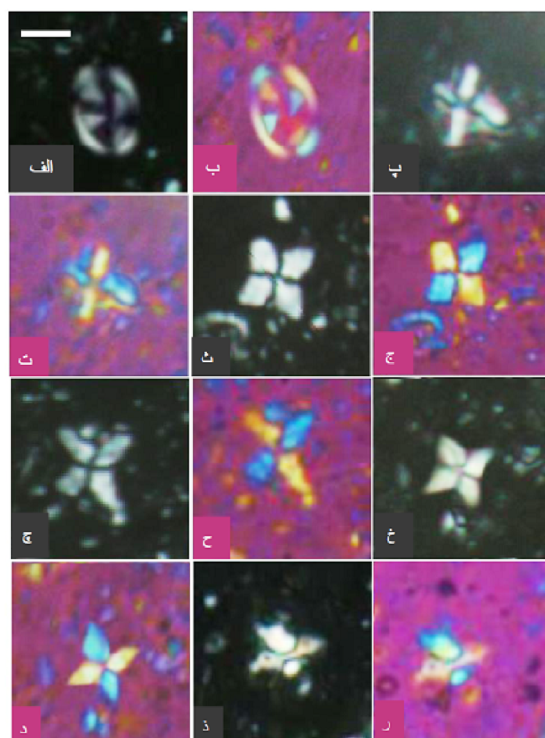
کلسیت یک بلور انیزوتروپیک تک‌محوری منفی است که پرتوی غیر عادی در آن سرعت بیشتری دارد. با برخورد یک نور تک رنگ به کلسیت، اگر پرتو در راستایی غیر موازی با محور c، به کانی شفاف وارد شود، پلاریزه شده و به دو بخش شکسته می‌شود که با سرعت‌های متفاوتی از بلور عبور می‌کنند. یکی از این پرتوها که پرتوی عادی بوده، عمود بر محور c و موازی با قطر بزرگ سطح‌لوزی شکل کلیواژها ست و دیگری که پرتوی غیرعادی نامیده می‌شود در صفحه در بردارنده محور c و موازی با قطر کوچک لوزی است. سرعت متفاوت این دو پرتو در بلور باعث دیده‌شدن آن و ایجاد پدیده بیرفرنژانس و در نتیجه تغییر رنگی و تشخیص این بلور انیزوترپ می‌شود. به عبارت دیگر، ایجاد رنگ‌ها به دلیل سرعت متفاوت پرتوهای عادی و غیرعادی در بلور کلسیت رخ می‌دهد.

تیغه کمکی ژیپس نیز صفحه‌ای با ضخامت مشخص برای ایجاد تغییر یا تاخیر ویژه‌ای در نور است. تیغه کمکی ژیپس برای تعیین ویژگی‌های نوری بلورهای باریک و شفاف به کار می‌رود (به شرطی که این بلورها رنگ‌های اینترفرانس نظام پایین خاکستری و سفید را نشان دهند). تیغه ژیپس با نام‌هایی چون صفحه 550nm (مقدار تاخیر ایجاد شده)، صفحه حساس و یا قرمز درجه یک نیز نامیده شده است. روی تیغه کمکی ژیپس، تنها راستای پرتوی آهسته مشخص شده و راستای پرتوی سریع عمود برآن است.

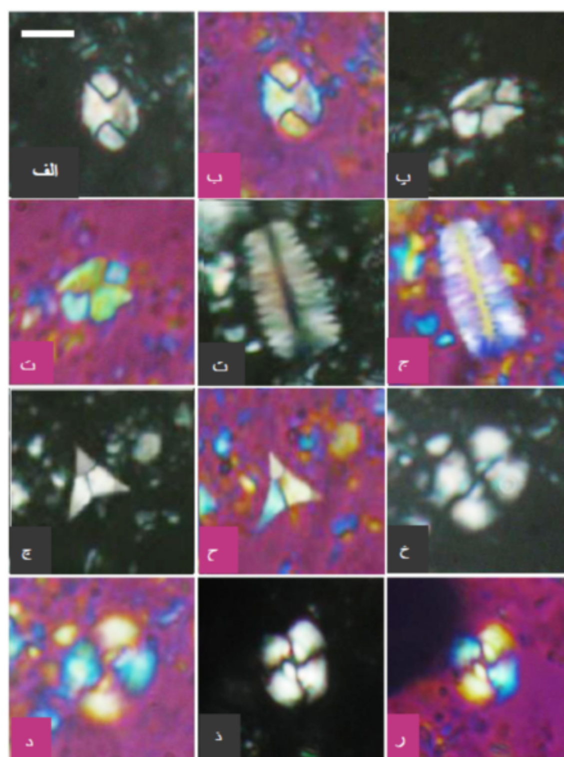


شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به مناطق نمونه برداری شده.

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375] [DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]



شکل۲ تصاویر نانوفسیل‌های آهکی و اسپیکول‌های دیدمنیدها شناسایی شده براساس ویژگی‌های نوری (خط مقیاس برای همه تصاویر: 5μm): الف و ب: *Arkhangelskiella cymbiformis* ، پ وت: *Micula decussata*، ث و ج:*Quadrum gothicus*، چ و ح:*Uniplanarius sissinghii*، خ- ر: *Velasquezia praegothica* .



شکل ۳ تصاویر نانوفسیل‌های آهکی و اسپیکول‌های دیدمنیدها شناسایی شده بر اساس ویژگی‌های نوری (خط مقیاس برای همه تصاویر: 5μm): الف و ب: *Calculites obscurus* ، پ وت: *Unabaculus pseudoobscurus*، ث و ج: *Nannoconus steinmannii*، چ و ح: *Uniplanarius trifidus*، خ- ر: *Watznaueria barnesiae* .

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375]

چنان که اشاره شد، قسمت عمده نمونه‌های نانوفسیلی دارای اسکلتی از جنس کلسیت هستند. جهت‌یابی بلورشناسی کلسیت در نانوپلانکتون‌های آهکی طی رشد کوکولیت کنترل می‌شود و یک شاخص کلیدی برای تعیین روابط فیلوژنیک است. جهت‌یابی محور c کلسیت. بر اساس انحراف آن از حالت عمودی و شعاعی تا ۳۰ درجه از مؤلفه‌های بلوری با واژگان زیر مشخص می‌شود: واحد بلوری V که محور c آنها به نسبت قائم است [۳۲]، واحد بلوری R که محور c آنها تقریبا شعاعی یا افقی است [۳۲] و واحد بلوری T که محور c به صورت مماسی است (مانند خانواده‌های Braarudosphaeraceae و polycyclolithaceae) [۳۳].

نمونه‌هایی مانند نانولیت‌ها که از واحدهای بلوری منفرد تشکیل شده و همه‌ی عناصر آن‌ها راستای بلورشناسی مشخصی نسبت به محورهای a و c دارند، تک بلور نامیده می‌شوند. این در حالی است که Pseudo_ monocrystaline از چند واحد بلوری با محورهای c موازی تشکیل شده است، اما محورهای a آن‌ها موازی هم نیستند (مانند *Discoaster*) [۲].

اطلاعات به‌دست‌آمده از میکروسکوپ نوری در نور پلاریزه متقاطع با تیغه ژیپس نشان می‌دهد که بسته به جهت‌یابی بلورهای کلسیت نسبت به محور میکروسکوپ، پس از قرارگیری تیغه ژیپس در زاویه ۴۵ درجه نسبت به راستای پلاریزه، رنگ‌های اینترفرانس افزایش یا کاهش می‌یابند.

زمانی که ضریب شکست کمتر تیغه ژیپس موازی با ضریب شکست کمتر بلورکلسیت قرار گیرد، رنگ‌ها اضافه شده و بلورهای کمتر از ۱۰ میکرون آبی می‌شوند. اگر این شاخص در زاویه ۹۰ درجه قرار گیرد، رنگ‌ها کم شده و در نتیجه رنگ بلورها زرد می‌شود (شکل ۴). افزون بر آن، هنگامی که تیغه ژیپس داخل باشد، نانوفسیل‌ها قطعه‌هایی را به نام خطوط خاموشی زرد درجه دو و آبی درجه سه (Second order yellow و Third order blue) نشان می‌دهند.

براساس توزیع رنگ‌ها می‌توان حتی ظریف‌ترین حلقه عناصر را در سپر دیستال و پروکسیمال و نیز در نمای جانبی تشخیص داد. گفتنی است که ساختارهای وابسته به واحدهای مشابه، رنگ‌های مشابهی دارند [۲۹، ۳۴].

این یافته‌های در بررسی‌های تکاملی، به فهم تکامل ساختارها در گذر زمان کمک می‌کند.

تشخیص گونه‌های نانوفسیل‌های آهکی و اسپیکول‌های دیدمنیدها در برش‌های مورد بررسی

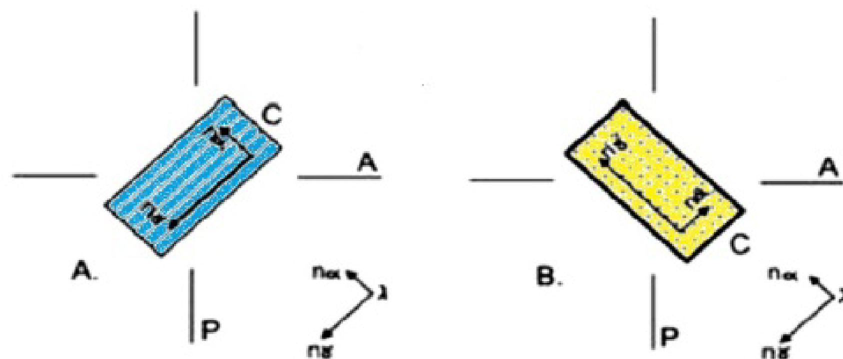
از آنجا که سپرهای کوکولیتی دربردارنده بلورهای ریز کلسیت هستند، اصول بررسی نانوفسیل‌های آهکی بر اساس ویژگی‌های نوری برپایه ویژگی‌های کلسیت استوار است. چنان که اشاره شد، کلسیت یک کانی با بیرفرنژانس به نسبت بالاست که موجب رنگ اینترفرانس بالا می‌شود و نیز بلوری تک محوری و منفی است که سه محور a در آن با هم زاویه ۱۲۰ درجه می‌سازند و در یک صفحه واقع هستند و محور c بر صفحه‌ی سه محور دیگر عمود است.

در شرایطی که در میکروسکوپ نوری، آنالیزاتور و پلاریزاتور برهم عمود بوده و فسیل در موقعیت خاموشی مطلق باشد، با چرخش صفحه به اندازه ۴۵ درجه، بیشترین رنگ اینترفرانس ایجاد می‌شود. در این شرایط، با واردکردن تیغه ژیپس می‌توان برخی از ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌ها را تعیین نمود. محور c بلورهای کوچک کلسیت در ساختار کوکولیت اگر موازی با پرتوی عادی باشد، رنگ زرد و در صورتی که عمود بر پرتوی عادی باشد رنگ آبی ظاهر می‌شود. همچنین با کمک میکروسکوپ نوری و بررسی در نور پلاریزه به وسیله ورقه ژیپس می‌توان سپر دیستال و پروکسیمال کوکولیت‌ها را تعیین نمود. به این ترتیب، اگر محور بلند کوکولیت موازی با طول ورقه ژیپس (پرتوی غیرعادی) باشد، دو بلور کوچک انتهایی آبی رنگ می‌شوند و این امر نشانگر سطح یا سپر دیستال است و اگر در چنین شرایطی، دو بلور انتهایی رنگ زرد را نشان دهند، بیانگر سپر پروکسیمال است.

در این پژوهش تعدادی از نانوفسیل‌های آهکی و فسیل‌های دیدمنیدها با توجه به مطالب بیان شده و بر پایه به ویژگی‌های نوری بلورهای ریز کلسیت شناسایی و مقایسه شدند. در ادامه، چگونگی شناسایی گونه‌ها، موقعیت ایجاد رنگ‌های آبی و زرد و تفکیک برخی گونه‌های مشابه (از نظر شکل ظاهری) بر پایه ویژگی‌های نوری آنها به اختصار بیان می‌شود.

گونه *Arkhangelskiella cymbiformis*: این گونه از خانواده Arkhangelskiellaceae است و به‌طور کلی شامل کوکولیت‌های بیضوی‌شکل با لبه پیچیده هستند. ناحیه مرکزی آن‌ها بزرگ و اغلب شامل حفره‌های کوچکی است. اثر آسیاب بادی که تنها در خانواده Arkhangelskiellaceae در نور پلاریزه قابل تشخیص است، به ویژه در جنس‌های *Arkhangelskiella* و *Gartnerago* مورد توجه از ویژگی‌های مهم و متمایز کننده این گروه است [۱۰].

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375] [DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]



شکل۴ جهت‌یابی تیغه کمکی ژیپس و تغییر رنگ نانوفسیل‌ها.

این پدیده در گونه‌ی *A.cymbiformis* نیز به خوبی قابل مشاهده است. در این گونه، ۴ بخش در طول محورهای کوتاه و بلند بیضی دیده می‌شود. این ۴ بخش ها کمتر حالت شعاعی دارند و زیر تقسیمات گوه‌ای‌شکل بزرگ در آن‌ها دیده می‌شود که بیرفرنژانس بسیاری دارند و به نظر شبیه پره‌های یک آسیاب بادی هستند. در بررسی این نانوفسیل با میکروسکوپ نوری مشخص شد که در نمای دیستال، بخش‌های گوه‌ای‌شکل روشن اغلب در طرف راست واقع بوده و به محورهای اصلی و فرعی ناحیه مرکزی بیضی نزدیک هستند و در دید پروکسیمال، نواحی روشن در سمت چپ محورها قرار دارند. گاهی در صورتی زمانی‌که حفظ‌شدگی نمونه‌ها کم باشد یعنی رشد ثانویه و یا پدیده‌های دیاژنتیکی درونزایی رخ داده باشد، تشخیص اثر آسیاب بادی در نمونه‌ها زیر نور پلاریزه مشکل است. بنابراین، راستای قرارگیری گونه در نمونه‌ها (دیستال یا پروکسیمال) با بررسی بسیار رنگ‌های اینترفرانس ممکن است. اگر محور بلند کوکولیت در راستای شمال – جنوب قرار گیرد، در دید انتهایی، لبه بخش‌ها که در لبه بیضی واقع است زردرنگ و ناحیه مرکزی بخش‌ها آبی‌رنگ است.

- در دید دیستال، انتهایی‌ترین قسمت بخش‌ها که در حاشیه بیضی واقع است زردرنگ و ناحیه مرکزی بخش‌ها آبی رنگ می‌باشد.
- در دید پروکسیمال، انتهایی‌ترین قسمت بخش‌ها به سمت رنگ آبی میل می‌کند در حالیکه مرکز بخش‌ها به سمت رنگ زرد میل دارد.

به نظر می‌رسد که ویژگی‌های نوری اثر آسیاب بادی به جهت‌گیری محورها در بخش‌های متفاوت ناحیه مرکزی وابسته باشد.

درگونه *A.cymbiformis* بررسی‌شده در این پژوهش، رنگ زرد در راستای شمال شرق- جنوب غرب (NE-SW) و رنگ آبی در راستای شمال غرب- جنوب شرق (NW-SE) دیده می‌شود که موازی با پرتوی غیرعادی در تیغه ژیپس بوده و نشان‌دهنده سپر دیستال این گونه است (شکل‌های ۲، الف و ب).

گونه *Micula decussata*: این گونه نانولیتی مکعبی‌شکل بوده که از چهار قطعه کلسیتی به‌هم چسبیده تشکیل شده و در گستره زمانی کرتاسه فراوان است. راستای عمومی محورهای c تعدادی از چاروجهی‌های کوچک در این گونه موازی با راستای بازوها است. بنابراین در این گونه، رنگ زرد در راستای NE-SW و رنگ آبی در جهت NW-SE دیده می‌شود که موازی با پرتوی غیرعادی در تیغه ژیپس است (شکل‌های ۲ پ وت).

گونه *Quadrum gothicus*: این گونه مکعبی‌شکل و شامل دو لایه و چهار قطعه کلسیتی است. چهار قطعه متصل به‌هم نبوده و انتهای قطعه‌ها تیز است. جهت‌گیری محور c در این گونه عمود بر طول بازوهاست. در این گونه، بخش‌های NW-SE به رنگ زرد و در بخش‌های NE-SW رنگ آبی دیده می‌شود (شکل‌های ۲ ث و ج).

گونه‌های *Uniplanarius sissinghii* و *Velasquezia praegothica*: گونه *U. sissinghii* کوکولیتی است که توسط یک چرخه شعاعی که دارای چهار شعاع بلند و مشخص است، شناخته می‌شود. انتهای شاخه‌ها نوک‌تیز بوده و ناحیه مرکزی بسیار منظم است. جهت‌گیری محور c در آن موازی با طول بازوهاست.

گونه *V. praegothica* که از اسپیکول‌های دیدمنیدها است، دارای چهار شعاع بلند و مشخص بوده که انتهای شاخه‌ها

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375]

نوک‌تیز و ناحیه مرکزی آن منظم است. در این گونه، بخش‌های به‌هم پیوسته شعاع‌ها اغلب کوتاه‌تر از بخش‌های آزاد آن‌هاست. در نمونه‌های خوب‌حفظ‌شده، شعاع‌ها هم‌اندازه هستند. جنس *Velasquezia* در ظاهر شبیه به جنس *Uniplanarius* از نانوفسیل‌های آهکی است. البته، در نور پلاریزه متقاطع در بررسی آن‌ها با تیغه ژیپس، در گونه *U. sissinghii* رنگ زرد در بخش‌های NW-SE و رنگ آبی در بخش‌های NE-SW دیده می‌شود (شکل‌های ۲ چ و ح)، در حالی‌که در *Velasquezia praegothica* بر عکس، بخش‌های NW-SE رنگ آبی و بخش‌های NE-SW رنگ زرد دارند (شکل‌های ۲ خ-ر). بنابراین بهترین راه تشخیص این دو گونه بررسی ویژگی-های نوری است.

افزون بر آن، گونه *Tetralithus cassianus* از نانوفسیل‌های آهکی نیز از نظر ساختار ظاهری به گونه *U. sissinghii* شباهت دارد. ویژگی‌های نوری این دو گونه از آن‌جا که درست عکس هم بوده، برای تشخیص آن‌ها از هم مناسب هستند. یادآور می‌شود که در گونه *T. cassianus* برخلاف *U. sissinghii*، رنگ آبی در بخش‌های NW-SE و رنگ زرد در بخش‌های NE-SW دیده می‌شود.

گونه *Calculites obscurus* و گونه *Unabaculus pseudobscurus*: گونه *C. obscurus* کوکولیتی بیضوی بوده و از چهار قطعه کلسیتی با لبه باریک تشکیل‌شده است. در بررسی این گونه با میکروسکوپ نوری در نور پلاریزه، با چرخش ۴۵ درجه‌ای صفحه میکروسکوپ، موقعیت قطعه‌ها نسبت به هم عوض می‌شود.

گونه *U. pseudobscurus* از اسپیکول‌های دیدمنیدها و اسپیکولی شامل شعاع‌های زوج دوکی ذوزنقه‌مانند است که از قاعده کوچک خود به‌هم متصل‌اند. دو زائده در دو قطب شعاع قرار دارند. گونه *U. pseudobscurus* در ظاهر شبیه به گونه *C. obscurus* از نانوفسیل‌های آهکی است. البته، *U. pseudobscurus* در نور پلاریزه متقاطع لبه ندارد و در بررسی با صفحه ژیپس، در گونه *C. obscurus* دو بخش کوچک کنار خط درزها زرد و بخش‌های میانی آبی است (شکل‌های ۳ الف و ب)، ولی در *U. pseudobscurus*، دو بخش کوچک کنار خط درزها به رنگ آبی و بخش‌های میانی به رنگ زرد دیده می‌شوند. بنابراین، بهترین راه تفکیک این دو گونه ویژگی های نوری آن‌هاست (شکل‌های ۳ پ و ت).

گونه‌های وابسته به جنس *Nannoconus*: این گروه شامل نانولیت‌هایی با دیواره ضخیم است که از صفحه‌های کلسیتی کاملا فشرده که پیرامون حفره مرکزی آرایش یافته اند تشکیل شده‌اند. این گروه بیشتر در رسوب‌های کرتاسه پیشین گسترش دارند و گاهی ممکن است با گونه‌های مشابه در نهشته‌های کرتاسه پسین اشتباه گرفته شوند. با استفاده از تیغه کمکی ژیپس و پراکندگی رنگ‌ها در *Nannoconus* می‌توان گفت که محورهای صفحه های کلسیتی که به صورت مارپیچی آرایش یافته‌اند با راستای پرتوی غیر عادی تیغه کمکی ژیپس در راستای NE-SW موازی هستند و رنگ آبی را نشان می‌دهند، در حالی‌که در راستای NW-SE محور c موازی پرتوی عادی است و رنگ زرد را نشان می‌دهد. این امر می‌تواند راهی برای تشخیص این نمونه از دیگر نمونه‌های نانوفسیلی باساختارهای مشابه باشد. بنابراین به طور کلی در گونه‌های جنس *Nannoconus* در راستای NE-SW، رنگ آبی و در راستای NW-SE رنگ زرد دیده می‌شود (شکل‌های ۳ ث و ج). گفتنی است که در ظاهر برخی از گونه های *Nannoconus* در تصویر از بالا با گونه *Watznaueria barnesiae* ساختار مشابهی دارند. البته چنان که بیان شد، در بررسی گونه *W. barnesiae* با تیغه ژیپس برخلاف *Nannoconus*ها، در راستای NE-SW رنگ زرد و در راستای NW-SE رنگ آبی دیده می‌شود (شکل‌های ۳ خ-ر).

گونه *Uniplanarius trifidus*: این گونه کوکولیتی یک لایه‌ای با سه شعاع بلند و مشخص است. انتهای شعاع‌ها نوک‌تیز بوده و در نور پلاریزه یکی از آن‌ها تیره تر از دو شعاع دیگر است. در این گونه، رنگ های زرد و آبی به ترتیب در بخش‌های NW-SE و NE-SW دیده می‌شوند (شکل‌های ۳ چ و ح).

گونه *Watznaueria barnesiae*: این گونه کوکولیتی بیضی‌شکل بوده که سپر دیستال آن شامل دو یا سه حلقه از عناصر کلسیتی و سپر پروکسیمال دارای دو حلقه از عناصر کلسیتی است. در بررسی این گونه با میکروسکوپ نوری و با استفاده از تیغه ژیپس در راستای NE-SW رنگ زرد و در راستای NW-SE رنگ آبی دیده می‌شود (شکل‌های ۳ خ-ر).

برداشت

در بررسی ویژگی‌های نوری بلور کلسیت در نانوفسیل‌های آهکی با میکروسکوپ نوری و با استفاده از تیغه کمکی ژیپس ملاحظه گردید که اگر آنالیزاتور و پلاریزاتور بر هم عمود باشند

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375] [DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7] [Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]

و فسیل در موقعیت خاموشی مطلق باشد، با چرخش صفحه پلاتین به اندازه ۴۵ درجه، بیشترین رنگ اینترفرانس ایجاد می‌شود. در این شرایط با واردکردن تیغه ژیپس می‌توان برخی ویژگی‌های نوری نانوفسیل‌ها را تعیین نمود. به این ترتیب، محور c بلورهای کوچک کلسیت در ساختار کوکولیت اگر موازی با پرتوی عادی باشد، رنگ زرد و اگر عمود بر پرتوی عادی باشد، رنگ آبی ظاهر می‌شود. بر این اساس، نمونه‌های برداشت‌شده از ۳ منطقه در بلوک لوت بررسی و مقایسه شدند.

بر اساس ویژگی‌های نوری، گونه‌های نانوفسیلی *M. decussate, Q.gothicus, U. sissinghii, A. cymbiformis*, *C. obscurus, U. trifidus, W.barnesiae,* و *Nannoconus steinmannii* و همچنین گونه‌های *U. pseudobscurus* و *V.praegothica* از Didemnium ascidian spicules شناسایی شدند. بنابراین استفاده از ویژگی‌های نوری ابزاری سودمند در تفکیک گونه‌های نانوفسیلی مشابه از هم و همچنین از انواع مشابه وابسته به گروه دیدمنیدهای فسیل است.

مراجع

[1] Hadavi F., " *Micropaleontology, First Volume (Foraminifera, Calcareous Nannoplanktone, Ostracods)*", Ferdowsi University of Mashhad (in persion) (1998) 181 p.

[2] Hadavi F., Pouresmail A., Notghi Moghaddam M., " *Calcareous Nannoplanktone*", Ferdowsi University of Mashhad, Banafshe Publications (in persion) (2008) 576 p.

[3] Varol O., "*Didemnid ascidian spicules from the Arabian Peninsula*" Journal of Nannoplankton Research 28 (2006) 35-55.

[4] Plough H. H., "*Sea squirts of the Atlantic continental shelf from mainc*" to Te,ras. John Hopkins University Press, Baltimore (1978).

[5] Arkhangelsky A. D., "*Upper Cretaceous deposits of east European Russia*" Materialien zur Geologie Russlands 25(1912) 1-631.

[6] Kamptner E., "*Beitrag zur Kenntnis adriatischer Coccolithophoriden*", Archiv für Protistenkunde 58 (1927) 173-184.

[7] Deflandre G., "Classe des Coccolithophoridés" (Coccolithophoridae. Lohmann, 1902). In: Grassé, P.P. (Editor), Traite de Zoologie. Masson, Paris (1952) 439-470.

[8] Deflandre G., "*Sur les nannofossiles calcaires et leur systématique*" Revue de Micropaléontologie. 2 (1959) 127-152.

[9] Deflandre G., Fert G., "*Observations sur les Coccolithophoridges actuels et fossiles en microscopie ordinaire et electronique*" Annales de Paleontologie 40 (1954) 115- 176.

[10] Bramlette M.N., Martini E., "*The great change in calcareous nannoplankton fossils between the Maestrichtian and Danian*" Micropaleontology 10 (1964) 291-322.

[11] Stover L.E., "*Nannoceratopsis spiculata, a new dinoflagellate species from the Middle Jurassic of France*", Journal of Paleontology 40 (1966) 41-45.

[12] Prins B., "*Evolution and stratigraphy of coccolithinids from the Lower and Middle Lias*", *Proc. 1st Int. Conf. Planktonic Microfossils,* Geneva, 2 (1969) 547-558

[13] Reinhardt P., "*Coccolithen. Kalkiges Plankton seit Jahrmillionen*", Die neue Brehm-Bucherei 453 (1972) 99. A. Ziemsen Verlag.

[14] Noel D., "*Coccolithes des terrains Jurassiques de I' Algerie. Publications du Service de la Carte Geologique de l 'Algerie (Nouvelle Serie)*", Traveaux Collaborateurs 8 (1956) 303-345.

[15] Bonet F., Benveniste-Velasquez, N., "*Espiculas de ascidias fosiles y actuals*" Revista del lnstituto Mexicano del Petroleo 3(1971) 8-35.

[16] Jafar S.A., "*Significance of late Triassic calcareous nannoplankton from Austria and southern Germany"*, Neues Jahrbuch fiir Geologie und Paliiontologie Abhandlungen, 166 (1983) 218-259.

[17] Perch-Nielsen K., "*New Lower Cretaceous nannofossil species from England*", International Nannoplankton Association Newsletter 10 (1988) 30-36.

[18] Varol O., Houghton S., "*A review and classification of fossil didemnid ascidian spicules*", Journal of Micropalaeontology, 15 (1996) 135-149.

[19] Hadavi F., " *Optical properties and Microcrystallography of calcareous nannofossils* ", *12th National* symposium of crystallography and mineralogy of Iran(SCM10) University of Sistan and Baluchestan (in persion) (2003).

[20] Jalili F., Hadavi F., Notghi Moghaddam M., " *Biostratigraphy of the Cretaceous deposits based on Calcareous Nannofossils in Shushud section (North Birjand)"*, Sedimentary Facies (in persion) 7 (2014) 208-217.

[21] Hadavi F., Notghi Moghaddam M., and Khodadadi L., "*Biostratigraphy and paleoecology of Cretaceous rocks based on calcareous*

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375]

[28] Perch-Nielsen K., "*Mesozoic Calcareous Nannofossils*", In: Bolli, H.M. Saunders, J.B. & Perch-Nielsen K., (Eds.), "Plankton Stratigraphy", Cambridge University, (1985) 329-426.

[29] Moshkovits sh., Osmond k., "*The optical properties and microcrystallography of Arkhangelskiellaceae and some other calcareous nannofossils*", Nannofossils and their applications; International nannofossil association conference (1987) 08-19.

[30] Thierstein H.R., Franz H. E., Roth P.H., "*Scanning electron and light microscopy of the same small object*" Micropaleontology11 (1972) 501-502.

[31] Smith C.C., "*Calcareous nannoplankton and stratigraphy of Late Turonian, Coniacian, and Early Santonian age of the Eagle Ford and Austin Groups of Texas*", Prof Pap. U.S. Geol. Su TI. 1 075 (1975) 1-98.

[32] Young J. R., Bown P. R., "*An ontogenetic sequence of coccoliths from the Late Jurassic Kimeridge Clay of England*" Palaeontol 34 (1991) 843-850.

[33] Young J. R., Didymus J. M., Brown P. R., Prins B., and Mann S., "*Crystal assembly and phylogenetic evolution in heterococcoliths*", Nature 356 (1992) 516-518.

[34] Romein A.J.T., "*Lineages in Early Paleogene calcareous nannoplankton*", Utrecht Micropaleontological Bulletins 22 (1979) 231.

nannofossil in Sarayan section, East Iran", Iranian Journal of Earth Sciences 84 (2016) 52-68.

[22] Notghi Moghaddam M., Jalili F., Hadavi F., *"Biostratigraphy of the Badamu Formation based on Calcareous nannofossils in Birg section"12th* Symposium Iranian Paleontological Society, Geological Survey of Iran north-east territory (in persion) (2018).

[23] Jalili F., Hadavi F., Notghi Moghaddam M., "*Biostratigraphcal investigation of the Silak section filyschoid deposits based on Calcareous nannofossils and comparison with shushud section and sarayan section (East Lut Block)*" Kharazmi Journal of Earth Sciences (in persion)5 (2020) under published.

[24] Aghanabati S. A., " *Geology of Iran*", Geological Survey of Iran (in persion) (2004) 586p

[25] Takin M., "*Iranian geology and Continental drift in the Middle East*", Nature. 235 (1972) 147-150.

[26] Stocklin J., Eftekhar-nezhad J., and Hushmand-zadeh A., "*Central Lut Reconnaissance; East Iran*", Geological Survey of Iran, Report 21 (1972) 62.

[27] Bown P.R.,Young J.R., Techniques In: Bown. P.R., (Ed.). "*Calcareous nannofossil biostratigraphy*", British Micropaleontology Society Pablication, London (1998) 16-28.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-28]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.8.7]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.375]